图书情报工作
第62卷 第9期 2018年5月

作者合作网络结构特征及差异三方关系组分析*

■ 王嘉鑫 侯海燕 黄福 胡志刚

大连理工大学科学学与科技管理研究所暨WISE实验室 大连 116024

摘要：［目的/意义］以武汉大学和南京大学在图书情报研究领域的发文作者及其发文数量为研究对象，识别两机构内部合作网络的结构特征及差异，挖掘合作潜力，为增强作者之间的合作交流提供借鉴，以期帮助该领域更好地发展。［方法/过程］建立次作者与第一作者之间的有向合作网络，统计两机构的合作构成，通过社会网络分析Pajek软件将合作网络关系可视化，同时进行三方关系组的特征分析。［结果/结论］经分析发现武汉大学更倾向双人合作发文，次作者多与高产作者合作，网络有汇聚倾向，缺乏次作者之间的合作；南京大学该领域学者倾向于独立发文，更多作者作为第一作者加入合作网络，使网络向外部扩张，第一作者之间缺乏合作。

关键词：作者合作网络 三方组分析 图书情报学 武汉大学 南京大学

分类号：G250

DOI：10.13266/j.issn.0252-3116.2018.09.013

1 引言

全球一体化、万物互联已经成为不争的事实，科学家之间的科研合作很大程度上推动了科技的发展，合作网络也越来越致密。合作研究也因其利于降低研究成本、减轻研究课题的难度、提高科研产出能力、扩大学术影响力等受到广泛关注。社会网络分析、文献计量分析的兴起与发展为破解合作网络之谜带来了福音。

历史上，不乏对科学家合作网络结构的特征进行分析。1997年W. Glanzel等人[1]提出了一个用来衡量和分析多边合作作者链接的程度的模型。该模型基于一系列扩展方法，将一个新的指标——多边合作指数(ρ)与国际合作论文(f)联系起来解析国际之间的合作模式。2002年E. Otte和R. Rousseau[2]提出将社会网络分析中的网络密度、度中心性、接近中心性、中介中心性、派系等方法应用于作者合作关系分析及其网络结构阐释。2013年邱均平和董克[3]应用社会网络分析和分层聚类分析，将合作网络分为作者合作、作者共被引、作者文献耦合、文字作者耦合、期刊作者耦合。2016年侯剑华和王仲禹[4]提出多边交叉型合作模式、双边交互性合作模式和补充型合作模式为核心的“外、中、内”3层合作体系。合作模式的划分多种多样，因时间、学科种类等多种因素而异。目前，对于作者合作网络的分析大多以子图层次与多关系结构或整体网络结构为视角，从较为微观的层次出发识别网络结构的文章极为少见。

三元微观层面上，2001年V. Batagelj[5]等人提出了Triad Census(三方关系组)算法用于发现和计算社会网络中三元关系组，从而揭示大规模数据稀疏网络的机构特征。国外多见三方关系算法改进的研究、社交媒体网络关系研究[6-8]。2009年傅春花[9]对社会网络及类社会网络中的派系结构进行研究，提出了网络的新统计量——K方组(包括二方组和三方组)项目度及其分布，其通过实证验证了用K方组进行派系结构研究的正确性。2010年由董克[10]等人将三方关系组方法应用到引用网络结构的研究中，从结构上可分为非封闭三方关系和封闭三方关系两组5个类型，并根据每种模型的特征分析了各种三方关系类型在引用网络中的具体意义。

笔者将作者合作问题细化到第一作者与次作者(文中将非第一作者统称为次作者)层面，认为同一篇

* 本文系国家社会科学基金项目“高科技前沿监测中的知识图谱方法与应用研究”(项目编号:14BTQ030)研究成果之一。

作者简介：王嘉鑫(ORCID:0000-0002-1187-2141)，硕士研究生；侯海燕(ORCID: 0000-0002-2790-9973)，教授，博士生导师；黄福(ORCID: 0000-0002-0985-1042)，博士研究生；胡志刚(ORCID: 0000-0003-1835-4264)，副教授，硕士生导师，通讯作者，E-mail:huzhigang@dlut.edu.cn。

收稿日期:2017-11-29 修回日期:2018-01-22 本文起止页码:102-111 本文责任编辑:王善军

文章不同作者对文章完成的贡献度不同，赋予在作者栏不同排位的作者不同权重，以武汉大学和南京大学在图书情报研究的发文作者为例，绘制有向作者合作网络，进行社会网络分析中的三方关系组分析。以三方关系组的基本行为为依据，试图鉴别不同机构合作网络在结构上的差异，从而判断不同机构的信息传递与知识共享的特征差异，为展开进一步科研合作提供借鉴。

2 理论方法与数据来源

2.1 社会网络分析中的三方组

社会网络分析有狭义与广义之分[10]，狭义社会网络分析主要分为个体网络分析(Ego-centric Network)和整体网络分析(Complete Network)。同时，社会网络分析又可分为5个层次反映不同网络属性，分别为：个体层次分析、二方关系对分析、三方关系组分析、子图层次与多关系结构分析、整体网络分析[10]。

社会网络分析中的三方组分析是以三方关系组的基本型为依据，分析三个行动者间的可能发生的各种联结关系，如关系与信息的传递和共享；通过三方关系组计算(网络中所有节点都会与其他所有节点匹配成三方组并进行模型统计)，解释整个网络的属性[11]。根据J. A. Davis等[12]的设定，三方组类型采用M-A-N三位数字编码系统，另外末尾增加一个字母(D代表向下，U代表向上，C代表循环，T代表传递)来表明选择关系的方向。总共可能有16种三方组类型，如图1所示[5]：

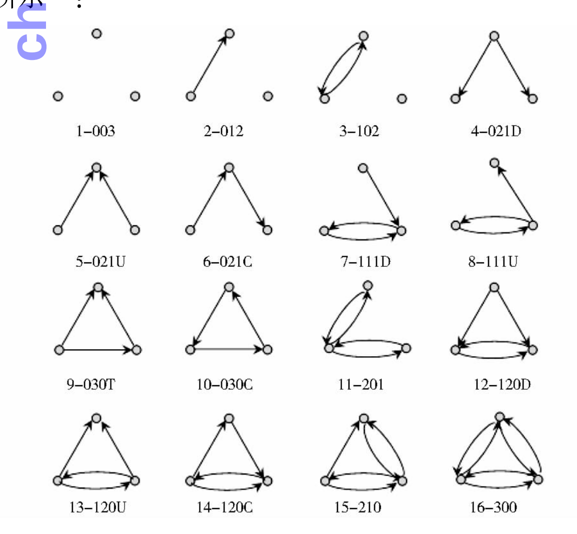


图1 三方组类型示意

图中1-16表示序号，其排序是按照“对称关系-不对称关系-无关系”模型列出的，例如021指对称关系数量为0，不对称关系数量为2，无关系数量为1。当网络中某种三方组的出现次数显著高于预期的随机出现次数，那么就可以认为相关模型有可能知道或影响网络的关系分布，不同结构的三方关系组模型具有传递、循环等特性，将其应用到作者合作网络中，有助于判断合作网络的整体结构特征。

2.2 作者合作网络分析中的三方组

三人构成的关系在社会网络分析中称为三方关系组，三方组类型可分成平衡性、可云集性、等级云集性、传递性、分层云集性网络和禁忌模型。该分类适用于社会网络中的社会等级序列分析，与作者合作网络的分布特点存在差异。笔者将三方关系组的概念应用到作者合作网络中，将多个作者之间的合作关系分解成若干个三人合作关系，由于分析对象不同，根据作者合作网络将三方组分成开放式和封闭式，如图2所示：

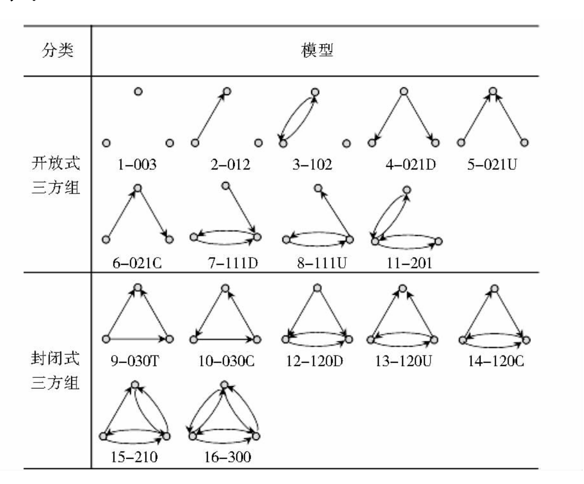


图2 作者合作网络三方组模型

图2涉及16个三方组类型，其中开放式三方组的三人之间的合作有部分缺失，合作较为疏松；封闭式三方组形成合作闭环，合作模式更为致密。另外，可以将封闭式三方组视作开放式三方组发展的下一阶段，各个模型合作特征见表1。针对不同的三方组其特点及合作趋势不同，通过下面的实例具体分析。

2.3 可视化及分析

可视化过程有助于清晰展示作者合作网络分布。笔者分别以节点和节点大小表示作者和该作者在图书情报18种核心期刊中的发文数量(包括第一作者和次作者的发文，其中将非第一作者统称为次作者)，链入链出的度中心性用不同颜色进行区分，箭头指向第一作者，连线表示作者合作权重 W_i

$$W_i = n_i \times \frac{1}{N_i - 1} \qquad \text{公式(1)}$$

表 1 作者合作网络三方组模型特征

模型	类型	合作特征
开放式三方组	1 - 003	无合作
	2 - 012	存在一条单向合作，合作初始状态
	3 - 102	存在一对双向合作，一位独立发文作者
	4 - 021D	合作发散倾向，少数次作者辅助多数第一作者
	5 - 021U	合作汇聚倾向，更多的次作者辅助少数作者成为第一作者
	6 - 021C	有缺失的信息传递合作
	7 - 111D	合作汇聚倾向，存在一对双向合作
	8 - 111U	合作发散倾向，存在一对双向合作
	11 - 201	存在两对双向合作
封闭式三方组	9 - 030T	较为紧密的闭环合作模式，同时具备汇聚、发散和传递倾向
	10 - 030C	完备的信息传递合作
	12 - 120D	合作发散倾向，存在一对双向合作
	13 - 120U	合作汇聚倾向，存在一对双向合作
	14 - 120C	完备的信息传递合作，存在一对双向合作
	15 - 210	完备的信息传递合作，存在两对双向合作
	16 - 300	完备的双向合作

在公式（1）中，n_i 表示次作者与第一作者合作发文的数量，N_i 表示次作者在作者栏的序号，连线越粗表示二人合作权重越大，并用 Pajek 软件进行展示，具体设置如图 3 所示：

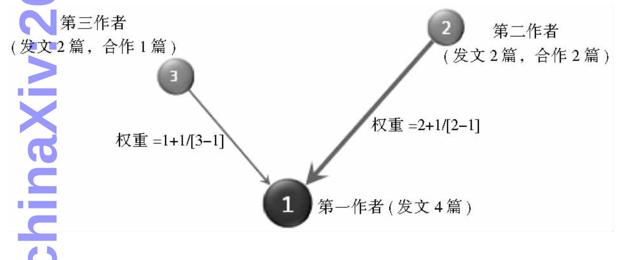


图 3 节点连线示意

表 2 显示网络中所能找到的各种三方组的数量（数据由 Pajek 软件统计得出），按照开放式三方组和封闭式三方组进行排列，这种三方组分布称为三方谱。

三方谱中第一列显示三方组类型；第二列显示实际三方组数量；第三列为预期随机数量；为对比实际数量与预期数量的差异，计算第四列相对差异；第五列为模型类别。网络中的节点众多，不同三方组形成的难易程度不同，因此，网络中存在某种三方组，并不代表相关模型就能代表整个网络，必须把实测三方谱与按照随机原理算出的与其三方组分布情况进行比较，如果某种三方组的出现次数显著高于其预期的随机出现次数，那么就认为相关模型有可能指导或影响网络的关系分布：开放或封闭，对应的合作网络相对稀疏或致密。

表 2 网络实例中的三方谱

类型	三方组实际数量 (n_i)	预期随机数量 (e_i)	相对差异 ($(n_i-e_i)/e_i$)	模型
1 - 003	6 984 572	6 981 283	0	开放式三方组
2 - 012	96 259	102 784.7	-0.06	
3 - 102	3 087	126.11	23.48	
4 - 021D	85	126.11	-0.33	
5 - 021U	461	126.11	2.66	
6 - 021C	184	252.21	-0.27	
7 - 111D	24	0.62	37.78	
8 - 111U	15	0.62	23.24	
11 - 201	3	0	3 949.9	
9 - 030T	10	0.62	15.16	封闭式三方组
10 - 030C	0	0.21	-1	
12 - 120D	0	0	-1	
13 - 120U	0	0	-1	
14 - 120C	0	0	-1	
15 - 210	0	0	-1	
16 - 300	0	0	-1	

注："预期随机数量（ei）"由同样大小的随机网络（相同节点及连线数）按照随机原理计算而来

2.4 数据来源

用于分析及可视化的文献数据来源于 CNKI 数据库，根据《中文核心期刊要目总览》（2017 年版）G25 图书馆事业、信息事业中的 18 种核心期刊（见表 3），分别对武汉大学和南京大学进行机构模糊检索，时间跨度为 2016 - 2016（检索日期：2017 年 9 月 23 日），分别得到武汉大学 298 条、南京大学 166 条文献记录。

表 3 图书馆事业、信息事业核心期刊列表

序号	期刊	序号	期刊
1	中国图书馆学报	10	图书与情报
2	图书情报工作	11	情报理论与实践
3	大学图书馆学报	12	图书馆工作与研究
4	情报学报	13	情报资料工作
5	图书馆论坛	14	现代情报
6	图书馆建设	15	情报科学
7	图书馆杂志	16	图书馆理论与实践
8	图书情报知识	17	国家图书馆学刊
9	图书馆	18	情报杂志

对数据进行统计与整理，通过 Pajek 软件将生成的合作网络进行可视化来展示三方组模型。将合作视为次作者与第一作者之间的直接合作，不考虑次作者间的合作交流。另外，考虑到论文合作具有广泛性，与目标机构合作过的其他机构作者同样具有与目标机构作者合作的潜力，将所有包含两机构署名机构的文章作者考虑在内（包括署名其他机构的作者），形成大的合作网络进行分析。

3 实证研究

3.1 武汉大学图情领域作者合作分析

下文分别对作者合作构成以及合作网络的三方组进行分析，识别不同机构的网络结构特性。

3.1.1 合作构成分析 分别对第一作者与不同编号的次作者合作进行统计，统计结果导入 Pajek 软件生成武汉大学图书情报领域作者合作网络，如图 4 所示：

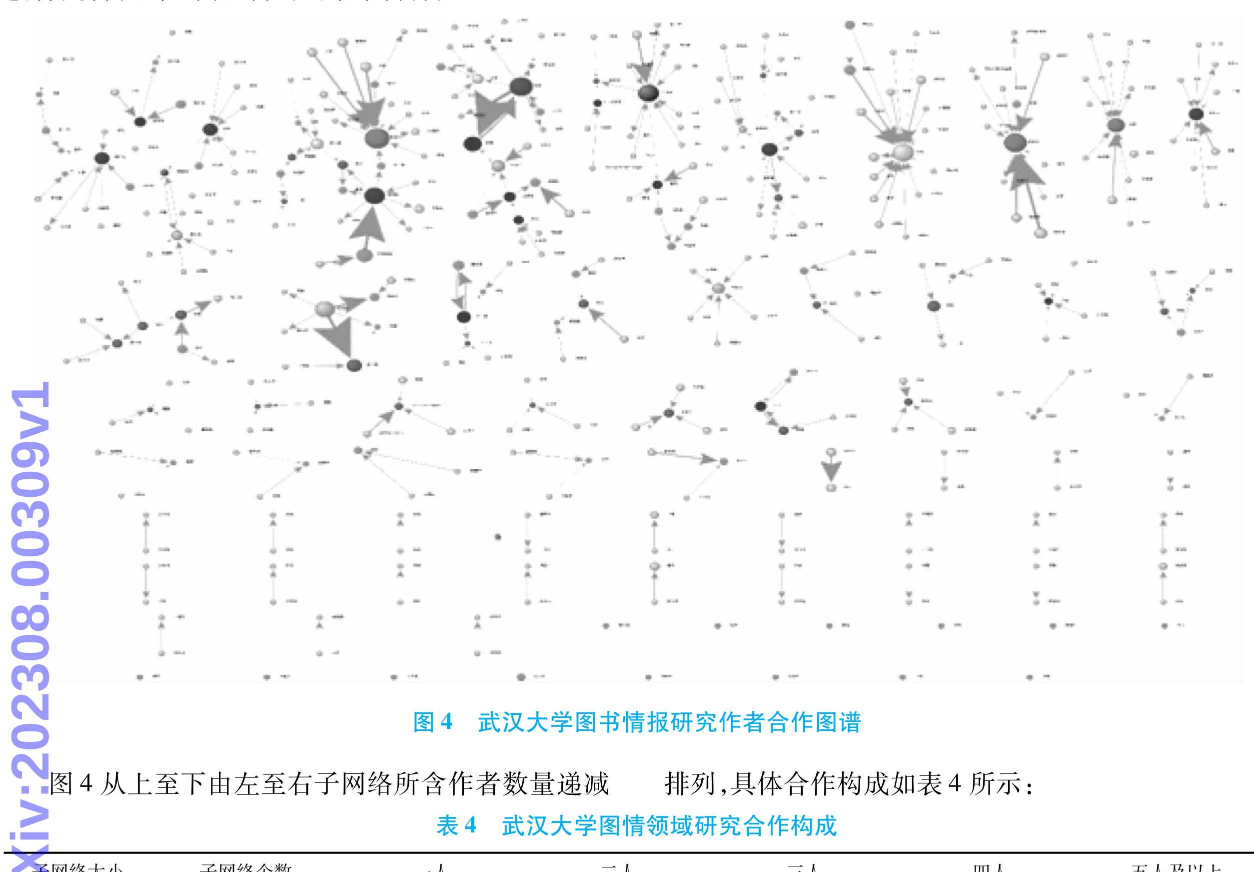


图 4 武汉大学图书情报研究作者合作图谱

图 4 从上至下由左至右子网络所含作者数量递减排列，具体合作构成如表 4 所示：

表 4 武汉大学图情领域研究合作构成

子网络大小	子网络个数	一人	二人	三人	四人	五人及以上
绝对数量	71	14	25	7	7	18
占比	1.00	0.20	0.35	0.10	0.10	0.25
合作情况	发文数	独立发文	双作者	三作者	四作者	五作者及以上
绝对数量	298	42	170	66	17	3
占比	1.00	0.14	0.57	0.22	0.06	0.01
作者身份	作者总数	第一作者	第二作者	第三作者	第四作者	第五作者及以上
绝对数量	350	154	175	79	19	11
占比	1.25	0.44	0.50	0.23	0.05	0.03

注：“子网络大小”表示图 3.1 中每个子网络中包含的作者数；“合作情况”表示一篇文章的作者数；“作者总数”包含与武汉大学在图书情报领域合作发文的全部作者；“第一作者”表示曾为第一作者发文的作者数量，“第二作者”等同理，有同时曾为第 1、第 2 作者的情况，因此数量加和大于作者总数

纵观整个合作网络，包括独自发文的情况共有 71 个小型子网络。两人子网络数量占比最大，占 35%，5 人及以上构成的子网络有 18 个，最大合作网络由 35 位作者组成。更多文章拥有双作者，独立发文数量仅占 14%，鲜有 5 位作者及以上的合作发文。在作者身份方面，半数学者曾为第二作者，其次是第一作者 44%。

3.1.2 三方组分析 表 5 显示该网络中各种三方组的数量，按照每种三方组类型所属模型的顺序进行排列。

据统计，武汉大学作者合作网络与随机网络差异较大的模型主要分布在开放式模型中。其中，在数值和比例差异均最大的是 7－111D 模型(比值 37.78)，其次是 3－102 模型(比值 23.48)。11－201 模型虽然相对差异巨大，但绝对数值上仅比随机值多 3。8－111U 和 9－030T 与随机值差异也较大(比值分别为

表 5 武汉大学图书情报研究作者合作三方谱

类型	三方组实际数量 (n_i)	预期随机数量 (e_i)	相对差异 $(n_i-e_i)/e_i$	模型
1 – 003	6 984 572	6 981 283	0	
2 – 012	96 259	102 784.7	–0.06	
3 – 102	3 087	126.11	***23.48***	
4 – 021D	85	126.11	–0.33	开放式
5 – 021U	461	126.11	2.66	三方组
6 – 021C	184	252.21	–0.27	
7 – 111D	24	0.62	***37.78***	
8 – 111U	15	0.62	23.24	
11 – 201	3	0	3 949.9	
9 – 030T	10	0.62	15.16	
10 – 030C	0	0.21	–1	
12 – 120D	0	0	–1	封闭式
13 – 120U	0	0	–1	三方组
14 – 120C	0	0	–1	
15 – 210	0	0	–1	
16 – 300	0	0	–1	

23.24 和 15.16）。由此，可以将武汉大学合作网络看作是以开放式模型为主导，以 7 – 111D 为代表的合作网络。

为了更清晰地分析内部合作网络构造，下面对该合作网络中以发文量最高的作者黄如花为中心的合作网络进行分析，如图 5 所示：

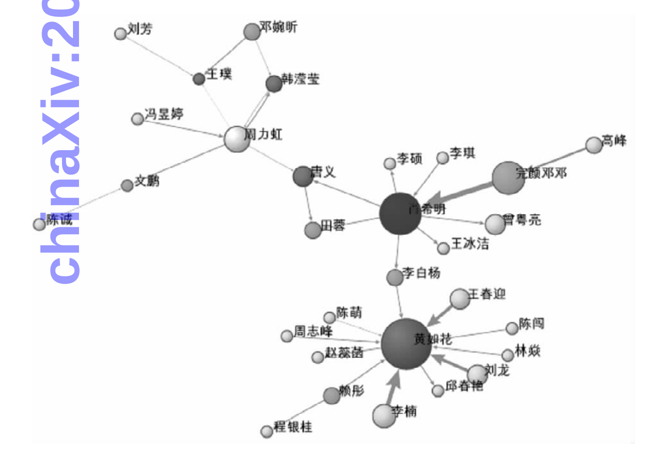


图 5 以黄如花为中心的作者合作网络

该子网络含 30 个节点，以黄如花为核心第一作者展开合作。在检索时间范围内，黄如花共发文 19 篇，作为第一作者发文 17 篇，在检索时间范围内居于首位。与 11 为作者构成直接合作关系，但缺乏双向合作。与李楠合作权重最大，4 篇合作发文（黄如花第一作者，李楠第二作者）。肖希明通过李白杨与黄如花构成间接合作关系，直接合作的机会有待开发。与肖希明直接合作次数最多的作者是完颜邓邓，合作 5 次（肖希明第一作者，完颜邓邓第二作者），同样缺乏双向合作。周丽虹通过唐艺与肖希明构成间接合作关系，周丽虹与韩滢莹之间有相互合作关系，但权重较低。该网络合作三方谱如表 6 所示：

表 6 以黄如花为中心的作者合作网络三方谱

类型	三方组实际数量 (n_i)	预期随机数量 (e_i)	相对差异 $(n_i-e_i)/e_i$	模型
1 – 003	3 297	3 242.46	0.02	
2 – 012	636	742.9	–0.14	
3 – 102	23	14.18	0.62	
4 – 021D	20	14.18	0.41	开放式
5 – 021U	42	14.18	***1.96***	三方组
6 – 021C	36	28.37	0.27	
7 – 111D	2	1.08	0.85	
8 – 111U	3	1.08	***1.77***	
11 – 201	0	0.02	–1	
9 – 030T	1	1.08	–0.08	
10 – 030C	0	0.36	–1	
12 – 120D	0	0.02	–1	封闭式
13 – 120U	0	0.02	–1	三方组
14 – 120C	0	0.04	–1	
15 – 210	0	0	–1	
16 – 300	0	0	–1	

该子网络没有形成封闭式三方组，与随机网络差异最大的模型是开放式模型中的 5 – 021U（共 42 个，比值 1.96），反映在图 6 中（列举 1 个）。

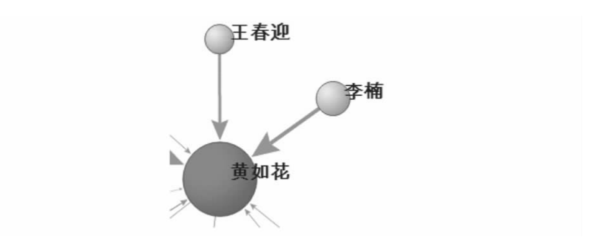


图 6 子网络 5 – 021U 三方组模型实例

图中显示黄如花作为第一作者，李楠、王春迎均多次与黄如花形成单向合作，李楠与黄如花合作更为密切。该模型显示黄如花与两位次作者之间缺乏双向合作，李楠和王春迎之间交流甚少。该模型以中间节点（黄如花）为中心，具有汇聚倾向，更多的次作者辅助少数作者成为第一作者。

相对差异第二大的是 8 – 111U 模型（共 3 个，比值 1.77），如图 7 所示：

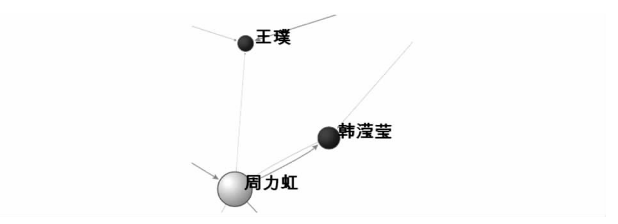


图 7 子网络 8 – 111U 三方组模型实例

周力虹和韩滢莹相互之间均作为第一作者与对方合作发文,而周力虹以次作者身份与王璞有过单向合作,周力虹与韩滢莹之间合作更为密切。该模型以周力虹为核心展开合作,王璞与韩滢莹之间缺乏交流,有较强合作潜力。

3.2 南京大学图情领域作者合作分析

3.2.1 合作构成分析　以同样的方法对南京大学该领域 2016 年的发文进行统计,并用 Pajek 进行网络可视化,生成如图 8 所示:

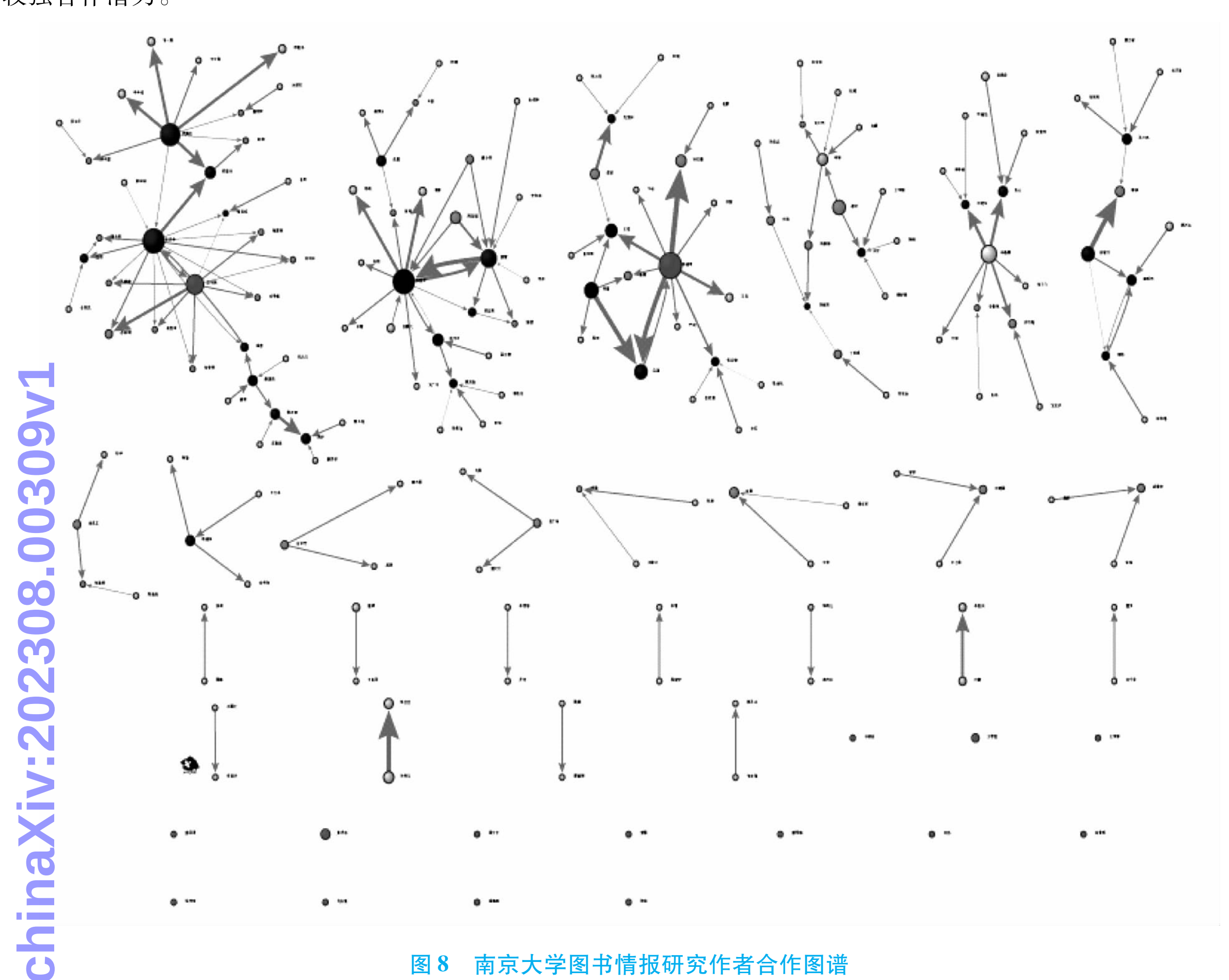


图 8　南京大学图书情报研究作者合作图谱

图 8 显示南京大学图书情报研究领域的整个作者合作网络,具体合作情况统计如表 7 所示:

表 7　南京大学图情领域研究合作构成

子网络大小	子网络个数	一人	二人	三人	四人	五人及以上
绝对数量	39	14	11	6	2	6
占比	1.00	0.36	0.28	0.15	0.05	0.15
合作情况	发文数	独立发文	双作者	三作者	四作者	五作者及以上
绝对数量	166	29	76	52	7	2
占比	1.00	0.17	0.46	0.31	0.04	0.01
作者身份	作者总数	第一作者	第二作者	第三作者	第四作者	第五作者及以上
绝对数量	183	110	64	40	9	2
占比	1.23	0.60	0.35	0.22	0.05	0.01

在南京大学图书情报研究领域作者合作网络中,包括独自发文的情况共有 39 个合作子网络。一人构成的子网络占比最大,占 36%,含 5 人以上的子网络有 6 个,最大子网络由 34 位作者组成。发表的论文中双作者数最多,占 46%。过半数作者曾作为第一作者发文。

3.2.2 三方组分析　表 8 显示该合作网络三方谱。

表 8 南京大学图书情报研究作者合作三方谱

类型	三方组实际数量（n_i）	预期随机数量（e_i）	相对差异（n_i-e_i）/e_i	模型
1 － 003	975 852	974 703.9	0	
2 － 012	27 435	29 648.79	－0.07	
3 － 102	1 017	75.16	12.53	
4 － 021D	200	75.16	1.66	开放式
5 － 021U	79	75.16	0.05	三方组
6 － 021C	77	150.31	－0.49	
7 － 111D	16	0.76	20	
8 － 111U	37	0.76	***47.55***	
11 － 201	2	0	1034.39	
9 － 030T	4	0.76	4.25	
10 － 030C	0	0.25	－1	
12 － 120D	3	0	1552.09	封闭式
13 － 120U	9	0	***4 658.26***	三方组
14 － 120C	0	0	－1	
15 － 210	0	0	－1	
16 － 300	0	0	－1	

据统计，南京大学作者合作网络与随机网络差异较大的模型在开放式和封闭式三方组中均有分布。在数值和比例差异上均较为明显的是 8 －111U 模型（比值 47.55），出现了 9 个随机网络中没有出现的 13 －120U 模型（比值 4 658.26），11 －201、12 －120D 模型虽然相对差异巨大，但绝对数值上仅分别比随机值多 2 和 3。由此，可以将南京大学合作网络看作以开放式模型为主导有封闭倾向、8 －111U 为代表的合作网络。

为了更清晰地分析内部合作网络构造，下面对该合作网络中以发文量最高的作者郑建明为中心的合作网络进行分析，如图 9 所示：

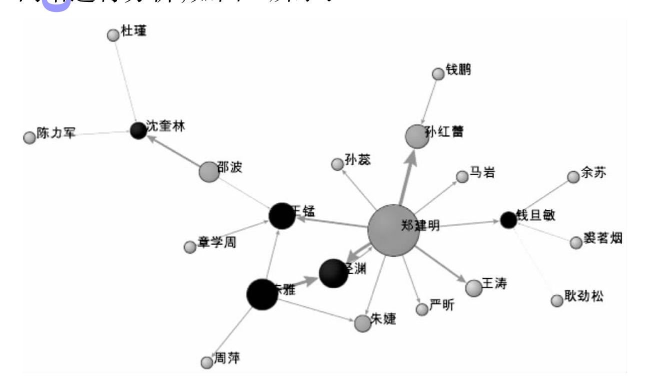


图 9 以郑建明为中心的作者合作网络

以郑建明为核心展开合作。郑建明在检索时间范围内共发文 19 篇，曾与 8 位作者构成直接合作关系，其中与经渊有一篇合作文章，郑建明为第一作者，经渊作为第一作者，二人合作发文两篇，构成相互合作关系。与郑建明合作权重最大的是孙红蕾，共合作 4 次，孙红蕾均为第一作者。陈雅通过朱婕、经渊、王锰与郑建明相连，未来发展成为合作关系潜力巨大。表 9 显示以郑建明为中心的作者合作网络三方谱。

表 9 以郑建明为中心的作者合作网络三方谱

类型	三方组实际数量（n_i）	预期随机数量（e_i）	相对差异（n_i-e_i）/e_i	模型
1 － 003	973	948.63	0.03	
2 － 012	286	329.75	－0.13	
3 － 102	10	9.55	0.05	
4 － 021D	35	9.55	***2.66***	开放式
5 － 021U	17	9.55	0.78	三方组
6 － 021C	0	19.1	－1	
7 － 111D	1	1.11	－0.1	
8 － 111U	8	1.11	***6.23***	
11 － 201	0	0.03	－1	
9 － 030T	0	1.11	－1	
10 － 030C	0	0.37	－1	
12 － 120D	0	0.03	－1	封闭式
13 － 120U	0	0.03	－1	三方组
14 － 120C	0	0.06	－1	
15 － 210	0	0	－1	
16 － 300	0	0	－1	

该子网络与随机网络差异最大的模型是开放式模型中的 8 －111U（共 8 个，比值 6.23），反映在图 10 中（列举 1 个）：

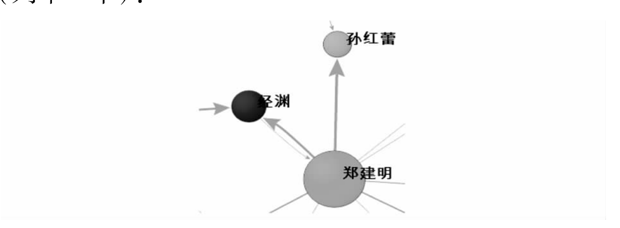


图 10 子网络 8 －111U 三方组模型实例

郑建明和经渊相互之间均作为第一作者与对方合作发文，而郑建明又作为次作者与孙红蕾有过单向合作。显示出郑建明与经渊之间的合作更为密切。该模型以郑建明为中心，经渊和孙红雷发文能力均较强，但缺乏二人之间的合作。

相对差异第二大的是 4 －021D 模型（共 35 个，比值 2.66），如图 11 所示（列举 1 个）。

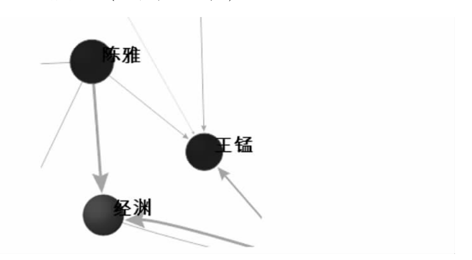


图 11 子网络 4 －021D 三方组模型实例

陈雅作为次作者分别与王锰、经渊合作，与经渊合作更为密切。该模型不仅缺乏两人之间的双向合作，王锰、经渊间的合作也有待加强。该模型有发散倾向，次作者辅助更多作者成为第一作者。

4　两高校图情领域作者合作对比分析

4.1　合作构成对比分析

上文已经分别对两机构的合作构成进行描述，下面通过对比展示两高校不同合作网络之间的机构差异，合作构成差异如图 12 所示：

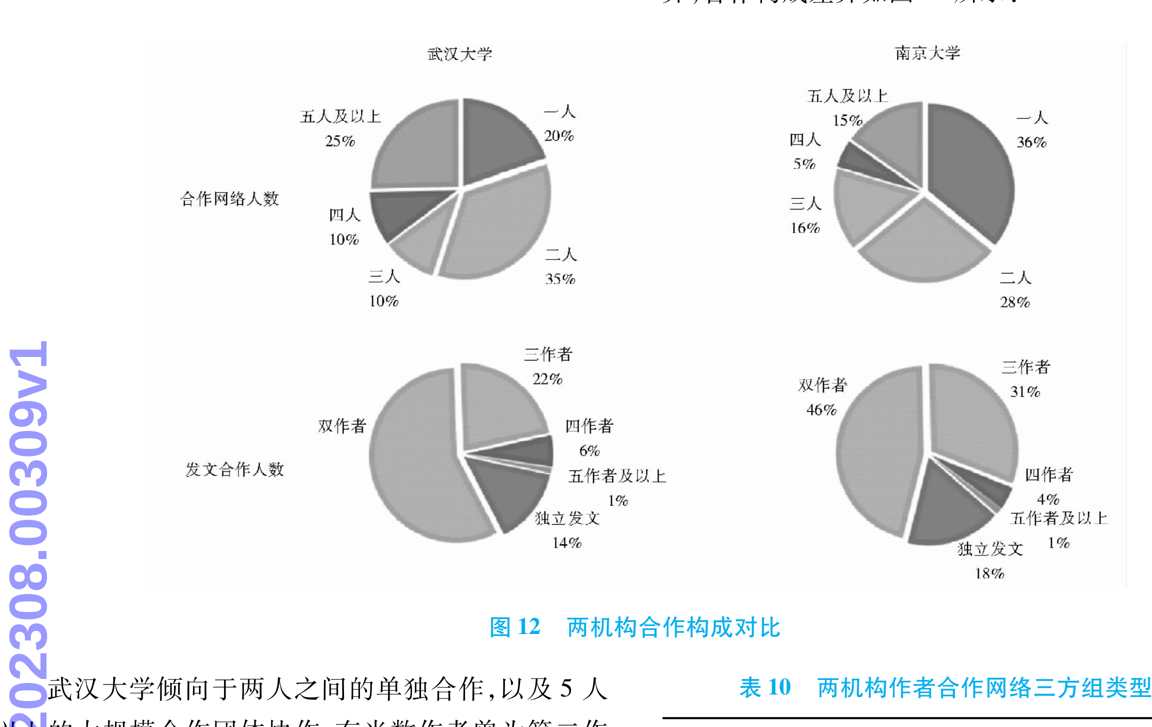


图 12　两机构合作构成对比

武汉大学倾向于两人之间的单独合作，以及 5 人以上的大规模合作团体协作，有半数作者曾为第二作者，占 50%（总量 125%），超半数文章为双作者；南京大学倾向于一人独立发文以及二人合作发文，曾为第一作者的人数占比最多，占 60%（总量 123%），两位作者合作发文比例最高，但不及半数，有超过 30% 的学者发文选择三位作者合作。

4.2　三方组类型对比分析

两机构三方组构成在开放式和封闭式模型中均有分布。经第三章前两节分析可知两机构在模型数量和种类上存在差异，现对两机构三方组类型差异进行对比分析从而鉴别异同，见表 10。

总体看来，武汉大学在开放式三方组的分布上与随机值差异更大，而南京大学封闭式三方组差异明显（差异较大部分表中用加粗斜体突显）。武汉大学多见 7－111D、3－102、5－021U 三方组，南京大学 8－111U、4－021D 两种三方组较随机数量差距更大，三方组类型对比见图 13。

武汉大学多见 5－021U（共 461 个，比值 2.66）模型，更多数量的次作者辅助少量第一作者合作发文，次作者合作较少；7－ 11D（共 24 个，比值 37.78）模型，两位作者合作密切，均曾为第一作者与对方合作发文，第三位作者作为次作者加入合作网络。两个模型均具有汇聚倾向。3－ 02（共 3 087 个，比值 23.48）模型显示两位作者合作紧密，对应作者合作构成分析中的两人合作发文数量占比最大。上述模型使合作网络更加致密。

表 10　两机构作者合作网络三方组类型对比

类型	相对差异（武汉）	相对差异（南京）	模型
1 － 003	0	0	
2 － 012	－0.06	－0.07	
3 － 102	***23.48***	12.53	
4 － 021D	－0.33	***1.66***	
5 － 021U	***2.66***	0.05	开放式
6 － 021C	－0.27	－0.49	三方组
7 － 111D	***37.78***	20	
8 － 111U	23.24	***47.55***	
11 － 201	3 949.9	1 034.39	
9 － 030T	***15.16***	4.25	
10 － 030C	－1	－1	
12 － 120D	－1	1 552.09	封闭式
13 － 120U	－1	***4 658.26***	三方组
14 － 120C	－1	－1	
15 － 210	－1	－1	
16 － 300	－1	－1	

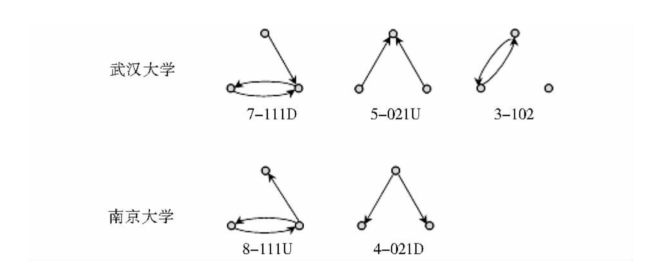


图 13 两机构开放式模型主要差异

南京大学与武汉大学相反,在 8 – 111U(共 37 个,比值 47.55)模型中三位均曾为第一作者,拥有两位合作密切的作者,其一作为次作者与另外一为作者合作。4 – 021D(共 200 个,比值 1.66)模型拥有两位第一作者,缺乏第一作者之间的合作。上述两种模型具有发散倾向,使合作网络向外扩展。

在封闭式模型中,武汉大学拥有更多的 9 – 030T 模型,南京大学出现了随机网络中没有的 13 – 120U 模型,如图 14 所示:

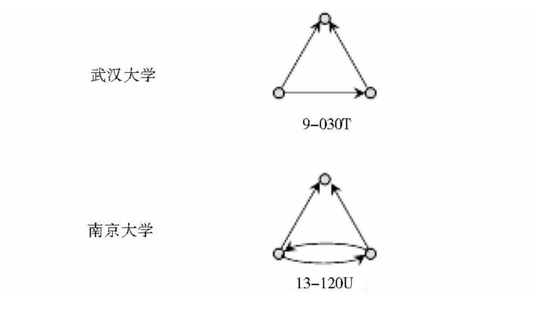


图 14 两机构封闭式模型主要差异

在 9 – 030T(共 10 个,比值 15.16)模型中,其中一位(上方节点)两次作为第一作者与另外两位展开合作;一位(左下方节点)曾辅助另外两位合作发文;一位(右下方节点)既作为第一作者与其中一位展开合作又作为次作者辅助上方节点发文。该模型形成了较为紧密的闭环合作模式,同时具备汇聚、发散和传递倾向,是一种较为成熟的复合模型,但每两位之间缺乏双向合作交流。

13 – 120U(共 9 个,随机值为 0)模型在 9 – 030T 模型的基础上增加了一条第一作者与次作者间的合作,使原本的次作者成为第一作者,不仅使该模型上的作者具备更高的合作交流程度,还使网络增加了一个第一作者的数量,与 9 – 30T 模型具有更强的拓展合作网络倾向。

5 结语

笔者将社会网络分析中的三方组分析运用到作者合作网络,从三方关系层面上解析作者合作结构,展现不同机构的合作模式及特点,挖掘合作潜力,为增加作者之间的合作交流程度提供借鉴。通过对武汉大学和南京大学图书情报研究作者合作网络结构的三方组分析可以发现:

在合作构成方面,武汉大学更倾向二人合作发文,全部发文作者中曾为第一作者占比较少。拥有更多的大型合作子网络,围绕核心发文作者展开合作。而南京大学独立发文人数更多,更多学者曾为第一作者发表文章。

在三方组分析方面,两机构在开放式和封闭式三方组的分布上有明显差异。通过对比开放式三方组模型可以发现:武汉大学更多数量的次作者辅助少量第一作者,第三位作者多以次作者身份加入合作网络,同时巩固两位作者之间的合作交流,缺乏次作者之间的合作交流,具有向高产作者汇聚合作的倾向,使网络更加致密;南京大学与之相反,少数次作者辅助更多数量的第一作者发文,第三位作者多以第一作者身份加入合作网络,缺乏第一作者之间的合作交流,第一作者群逐步扩大,使合作网络向外扩张。

通过对比封闭式三方组可以发现:两机构均具有较为成熟的合作模式,该模式同时具备汇聚、发散和信息传递的功能。相比较,武汉大学更加缺乏每两位之间的双向合作,而南京大学更多的次作者,加强了合作网络的拓展性。

导致不同机构中呈现出不同作者合作特征的原因有很多,包括:机构发展模式、教育培养方式、师生合作情况、研究人员的科研年龄构成、权威研究人员数量、学术氛围、个体差异等。不同模式的合作对科研产出及科研质量有何影响? 该研究是否存在学科上的差异? 上述问题笔者仍有存疑,也是笔者未来研究的方向。另外,本文仅使用少量数据对图书情报领域的作者合作网络研究进行了三方组理论的试探性研究,实际上,三方组理论其统计特性正适用于大规模数据的稀疏网络的研究,笔者认为研究结果具备一定的可推广性,但需要进一步实证考察。

将三方组分析运用到作者合作研究,从作者栏排位上识别不同机构的合作模式及结构,对于目标研究机构内部来说可以借此更大程度地挖掘内部合作潜力,将内部人才资源利用效率最大化,发现内部合作缺陷,转变合作模式;对于外部研究人员来说,可以帮助识别出有哪些是该机构学术论文的主要执笔人,他们惯于怎样的合作模式,进而有的放矢展开合作,将有利于促进相关研究领域更好地合作与发展。

参考文献：

[1] WOLFGAN G, CHRISTO D L. Modelling and measuring multilateral co-authorship in international scientific collaboration. Part II. A comparative study on the extent and change of international scientific collaboration links[J]. Scientometrics, 1997, 40(3): 605－626.

[2] EILEEN O, RONALD R. Social network analysis: a powerful strategy, also for the information sciences[J]. Journal of information science, 2002, 28(6): 441－453.

[3] 邱均平,董克.作者共现网络的科学研究结构揭示能力比较研究[J].中国图书馆学报,2014,40(1):15－24.

[4] 侯剑华,王仲禹. 大科学项目的国际科学合作模式及特点探究——以斯隆数字巡天(SDSS)项目为例[J]. 现代情报, 2016, 36(12): 126－132.

[5] BATAGELJ V, MRVAR A. A subquadratic triad census algorithm for large sparse networks with small maximum degree[J]. Social networks, 2001, 23(3): 237－243.

[6] CHU S H, CHENG J. Triangle listing in massive networks[J]. ACM transactions on knowledge discovery from data, 2012, 6(4): 1－17, 32.

[7] DEREK D, HUDA A, SWAPNA S G. Triads, transitivity, and social effects in user interactions on Facebook[C]//International conference on computational aspects of social networks. New York: IEEE, 2013: 68－73.

[8] HUDA A, SWAPNA S G. Mining social capital on online social networks with strong and weak ties[C]//AWAN I, YOUNAS M. Proceedings 2016 2nd international conference on open and big data. Los Alamitos: IEEE Computer Soc, 2016: 9－16.

[9] 傅春花. 合作网络及合作竞争网络的相关研究[D]. 扬州:扬州大学,2009.

[10] 董克,刘德洪,江洪. 基于三方关系组的引用网络结构分析[J]. 情报理论与实践,2010,33(11):50－53.

[11] 郑笑寒. 论知识产权理论的哲学反思——以创新收益为视角[D]. 南昌:南昌大学,2007.

[12] HOLLAND P W, LEINHARDT S. An exponential family of probability-distributions for Directed-Graphs[J]. Journal of the American Statistical Association, 1981, 76(373): 33－50.

作者贡献说明：

王嘉鑫:构思写作思路,主要论文撰写人;
侯海燕:提出论文修改意见,提供技术指导;
黄福:提出论文修改意见,提供技术指导;
胡志刚:提出写作思路建议和修改意见。

Triad Census Analysis on Structural Characteristics and Differences of Cooperative Network

Wang Jiaxin Hou Haiyan Huang Fu Hu Zhigang
WISE Lab, Dalian University of Technology, Dalian 116024

Abstract: [**Purpose/significance**] This paper used the published authors of Wuhan University and Nanjing University in the field of library and information research and their number of submissions as research objects to identify the structural characteristics and differences of the intranet's internal cooperation network. It can provide reference for the cooperation and communication among authors, and promote better development in this field. [**Method/process**] Firstly, this paper created cooperative network between the first author and the other author, and count up the cooperation between Wuhan University and Nanjing University. Then, it visualized the cooperative network relationship though Pajek (a social network analysis software), while did the triad census analysis of characteristics. [**Result/conclusion**] The analysis shows that Wuhan University prefer to publish papers through two personal cooperation. Sub-authors often cooperate with high-yield authors, the network tends to converge, and lack of cooperation among sub-authors; Nanjing University scholars prefer to publish papers independently as the first author, more authors join cooperation network as the first author so that the network expands outward. Meanwhile, there's less cooperation among different first authors.

Keywords: author cooperation network triad census analysis library and information science Wuhan University Nanjing University